



TITLE:

3.1 太陽系 (3. 花山天文台の主な研究成果)

AUTHOR(S):

CITATION:

3.1 太陽系 (3. 花山天文台の主な研究成果). 花山天文台70年のあゆみ
1999: 10-19

ISSUE DATE:

1999-11

URL:

<http://hdl.handle.net/2433/241444>

RIGHT:

3. 花山天文台の主な研究成果

本章では、創立以来70年の間に、花山天文台で行なわれた研究(あるいは、花山天文台に係る人々によって行なわれた研究)のうちで、代表的なものをいくつか紹介します。飛騨天文台ドームレス太陽望遠鏡によってなされた研究成果は、昨年出版された「飛騨天文台30年記念誌」に詳しいので、本誌からは省きました。また、1950年以前の研究成果については、発掘・調査している時間的余裕がありませんでしたので、今回は1件(3.2(a) コロナの電離論)だけ紹介ということになりました。なお、1950年以前以後を問わず、ここに掲げた成果以外にも、世界に誇るべき成果が多々あったと聞いております。残念ながらそれらの多くは、編集の都合上割愛せざるを得ませんでした。その旨、関係者の方々には、ここであらかじめお詫び申し上げます。

3.1 太陽系

(a) 月、及び、火星・水星の地形

花山天文台が理学部附属天文台となった頃は米ソが人工衛星打ち上げを競っていて、まさに宇宙時代の幕開けでした。人工衛星の次は月への探査機打ち上げとなるのは明らかでして、それに先駆けて花山天文台では月の観測を始めました。それはオービター計画により月面の詳細な写真が得られるまで続けられました。1970年代に入り、探査機による火星や水星の地形の資料が得られますと、月の研究で得た知識を火星や水星の地形に応用し、月・火星・水星の地形の比較研究が行われました(Miyamoto, 1980a,b)。

月には明るい地形と暗い地形とがあることは肉眼でもわかります。前者を陸、後者を海と呼んでいます。陸には大小さまざまなクレーターが密集しています。直径300km以上のものも沢山あります。大型クレーターは円形というよりは菱形に似ています(図1)。密集した大型クレーターは互いに壁を共有しています。しかもそれらの壁は北東から南西あるいは北西から南東に走り、対角線状の格子模様をつくっています。かような月面の格子構造は地殻構造線を表しています。初めて陸の地殻が形成された頃月は少し収縮し、東西及び南北方向から圧力が加かって、地殻全体に対角線上の亀裂ができたと考えられます。その亀裂は堅くなり、亀裂で囲まれた部分は後の熱作用で陥没して大型クレーターができました(Miyamoto, 1968)。一方海は陸より暗く、低く且つ平坦です(図2)。このことは海の地殻は陸よりも塩基性であることを物語っています。海には古いクレーターがありませんから、海の地形は陸より若いといえます。

探査機によりますと、月の海は表側に集中していて裏側にはありません。この海陸の分布は月のマントル対流の結果であると花山天文台では考えました(Miyamoto, 1967)。月は直径が地球の4分の1しかない小さな天体ですから、月は近似的に中心までマントルで占められているとしても差し支えありません。月のマントル物質にはウランなどの放射性元素が微量含まれていると思われます。その含有量を石質隕石と同程度と見積もりますと、月の内部にも可成りの熱が蓄積されることがわかります。内部に熱がたまってくると、マントル対流が起こりま

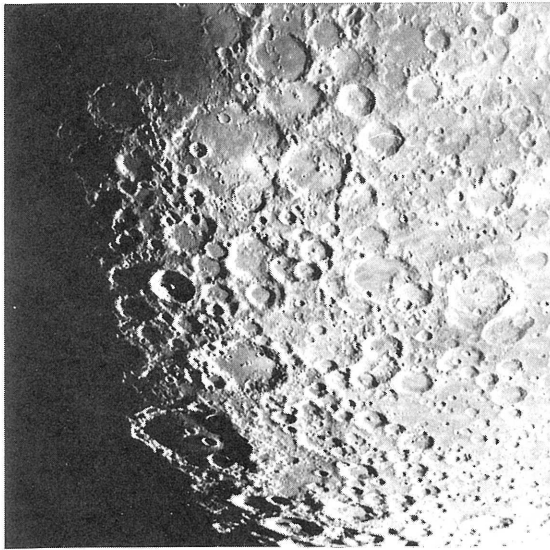


図 1. 南半球の中・高緯度地方

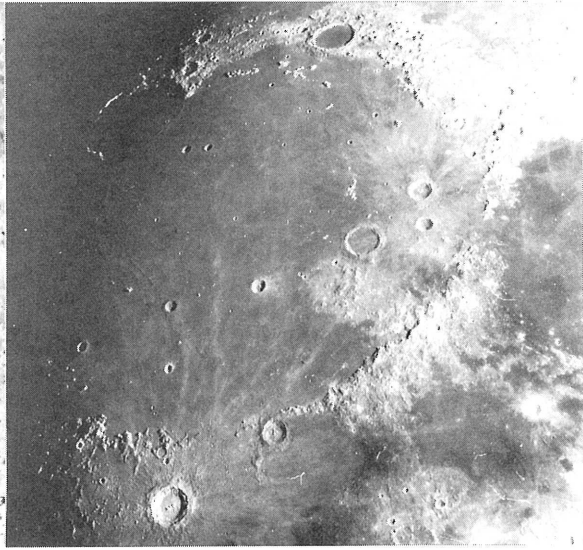


図 2. 雨の海(北半球)

す。中心核のない(あるいは非常に小さい)月では次数 1 の対流となります。すなわち、月全体が一つの対流のセルとなります。海陸の分布から判断しますと、月の表側が上昇域に相当します。このマントル対流説では陸と海は同時に形成された事になります。マントル対流は 1 回で終わってしまうのではなく、ある間隔をおいて繰り返します。陸はマントル対流の上昇口から離れていますし、陸の地殻は海の地殻より軽くとけにくい性質がありますから、陸では海ほどマントル対流の影響が顕著ではありません。部分的に地殻がとける程度です。一方海は直接その影響を受けます。海の地殻はとかされたり、対流によって運び去られたりします。すなわちマントル対流が発生するたびに海の地形は更新されます。

火星探査機マリナー 9 号とヴァイキング 1, 2 号によりますと、火星も近似的に陸半球と海半球に分けられます。火星では南半球に古いクレーターが多く、クレーター密度も高くなっています。しかも南半球の方が北半球よりも数キロメートルも高くなっています。火星の北半球には平坦な地形が多く、そこには地球の海底火山をおもわせる大きな火山があります。火星の南半球を陸半球、北半球を海半球とみなしますと、火星にも次数 1 のマントル対流があったといえます。現在の地球の海陸分布は次数 5 のマントル対流に相当していると言われています。地球では中心核が大きいために対流の次数が高くなっています。しかし、地球でも近似的に陸半球と海半球に大別できるのは次数 1 の初期のマントル対流の名残といえます。

水星は小さな惑星でその半径は月の 1.4 倍しかありません。マリナー 10 号によりますと、水星にも無数のクレーターがあり、その形態は月と似ています。しかし少し詳しく調べてみますと、全体に水星のクレーター密度は月より低くなっていますし、クレーターの深さと直径との比は月より大きくなっています。また水星では内壁のみならず外壁にも段丘状の地形を持つクレーターが目につきます。このようなクレーターは月では非常に希です。かように月と水星とではクレーターの形態に相違があります。このことはマントルの成分に相違があること、すなわち月のマントルの方がより原始的である事をしめしています(Miyamoto, 1980b)。

火星ではクレーター底の方が周囲よりも高くなっているものがしばしば目に付きます。それらは普通のクレーターの外壁よりも長い裾野をひいています。また火星には大きな盾状火山がいくつかあります。これらのことは火星の地殻やマントルは月や水星よりもさらに進化している事を示すものでしょう。

Miyamoto, S. 1967. Lunar and Martian crusts and mantle convection.
Icarus 6, 50-55.

Miyamoto, S. 1968. Morphological study of the lunar crust. Icarus 9, 373-390.

Miyamoto, S. 1980a. Morphological sequence of craters in Moon, Mercury
and Mars. Contr. Kwasan Hida Obs. No. 244.

Miyamoto, S. 1980b. Landforms of Mercury crust. Contr. Kwasan Hida Obs. No. 246.
(赤羽徳英記)

(b) 火星の大黄雲と極冠

1956年以来宮本先生によって行われてきた火星の眼視観測を引き継ぎ、花山天文台では1977年から飛騨天文台と共同で写真観測が行われてきました(Akabane et al. 1980)。

1986年以降はインドネシアのボスカ天文台、インドのヴァイヌ・バープ天文台、アメリカのアリゾナ大学月惑星研究所との共同観測が行われています。

火星が太陽に最も近づく時期は、火星南半球の晩春に当たっています。この頃、南半球の中緯度では日射量が多くなるため、しばしば大規模な砂嵐が発生します。これは地上観測では大黄雲として観測されます。1956年8月20日に発生した大黄雲は、宮本先生(Miyamoto 1957)によって発見されました(図1)。宮本先生は、この大黄雲が偏東風に流されて中緯度帯を一周するのを観測し、火星の大循環が地球とは異なることを明らかにしました。その後、宮本先生(Miyamoto 1960)は太陽輻射の入射量と火星表面からの熱放射量のエネルギー・バランスを調べ、火星南半球の夏の頃は地球と異なって南極地方から北半球へエネルギーが流れるため、南半球の中緯度帯では偏東風が吹くことを示し、1956年の大黄雲の観測を理論的に説明しました。1973年の大黄雲の観測では、黄雲をつくっているダストの光学的厚さが3~5であることが明らかにされました(Akabane et al. 1992)。

火星の極地方で明るく輝く極冠は、極地方をおおう氷原です。冬の間、極地方は極雲におおわれ地表はほとんど見えません。春分の頃になると極雲が晴れ上がり、その下から極冠が見えてきます。極冠は春から夏にかけて縮小し、夏至頃になるとそれ以上縮小しなくなります。この夏でも残っている極冠は永久極冠と呼ばれています。秋分の頃になると極地方は再び極雲におおわれます。宮本先生(Miyamoto 1963)は1962~1963年の花山天文台での観測から、北極冠の縮小が春先から仲春にかけて一時停止することを明らかにしました。この現象はローエル天文台の観測によっても示されています(Baum and Martin 1973)。また、1977年以降の我々の花山天文台および飛騨天文台の観測でも確認されています(Iwasaki et al. 1979)。1977~1978年の火星の接近は、北極冠の縮小を観測するのに適しており、花山天文台および飛騨天文台で



- No. 1. (a) July 22d 3h (21d 18h UT) 18m-28m
 (b) C 12"-7", 420x (c) Good
 (d) 315°-317° (e) -18° (f) 227°
 (g) *Northern boarder of S. Sabaeus is the darkest.
 *M. Serpensis is dark.
 *Hellespontus is dark and stretches northward from the polar cap.



- No. 7. (a) Aug. 20d 22h (13h UT) 45m-23h 6m.
 (b) C 12"-7", 360x (c) Moderate
 (d) 333°-338° (e) -22° (f) 246°
 (g) * Very brilliant cloud appeared over Noachis. Color is white and its brightness comparable with the polar cap. A brightest condensation in the middle of the bar-like cloud. Hellas and Iapygia may be affected by the cloud. Northern borders of the cloud are very dark on Deucalionis R. and on Noachis. Two dark streaks extend westward from the southern part of the cloud.



- No. 9. (a) Aug. 26d 2h (25d 17h UT) 15m-55m.
 (b) C 12"-7", 360x (c) Moderate
 (d) 340°-349° (e) -22° (f) 249°
 (g) * Color of the cloud orange red. The cloud stretched south west direction. S. Sabaeus remains unaffected.

図1. 1956年の大黃雲 上：7月22日 大黃雲発生前 中：8月20日13h45mUT 大黃雲出現
 下：8月26日 西にのびる大黃雲

は1977年10月より観測を開始しました(Iwasaki et al. 1979)。春先には北極冠は北緯65度あたりまで広がっていました。この北極冠は仲春まで大きさが変わらず、宮本先生が明らかにされた北極冠の縮小の一時停止が見られました(図2)。その後、北極冠は高緯度に向かって後退しました。花山天文台と飛騨天文台で観測している丁度その頃、火星ではヴァイキング軌道船が北極冠の画像を撮っていました。ジェームス(James 1979)はこの画像を測定し北極冠の縮小を調べ、図2に見られるような我々の測定と非常に良く合う結果を得ました。極冠の縮小の様子を地上と火星探査船の両方から同時に観測したというのはこれが始めてであり、しかも両者が同じ結果を得たことから、今までの地上観測についての信頼度が一段と増したと考えられます。

宮本先生(Miyamoto 1974) は1971年と1973年の花山天文台および飛騨天文台での観測から、1973年の南極冠の縮小が1971年より早いことを明らかにしました。このような南極冠の縮小の年変化は、1977年のヴァイキング軌道船の観測でも示されています(James 1979)。1986年の火星は15年ぶりの大接近であり、南極冠の縮小を観測するのに適していました。大接近の時は北半球では観測条件が悪いので、花山天文台および飛騨天文台での観測に加えてインドネシアのボスカ天文台との共同観測も行なわれました。我々(Iwasaki et al. 1989)は得られた写真を解析し、1986年の南極冠の縮小は1971年や1977年に比べて遅いことを示し宮本先生の結果を裏

付けました。南極冠の縮小の年変化はそれ以降の我々の観測にも現れています(Iwasaki et al. 1990)。また、北極冠の縮小にも年変化が観測されています(Miyamoto and Nakai 1961, Iwasaki et al. 1999)。

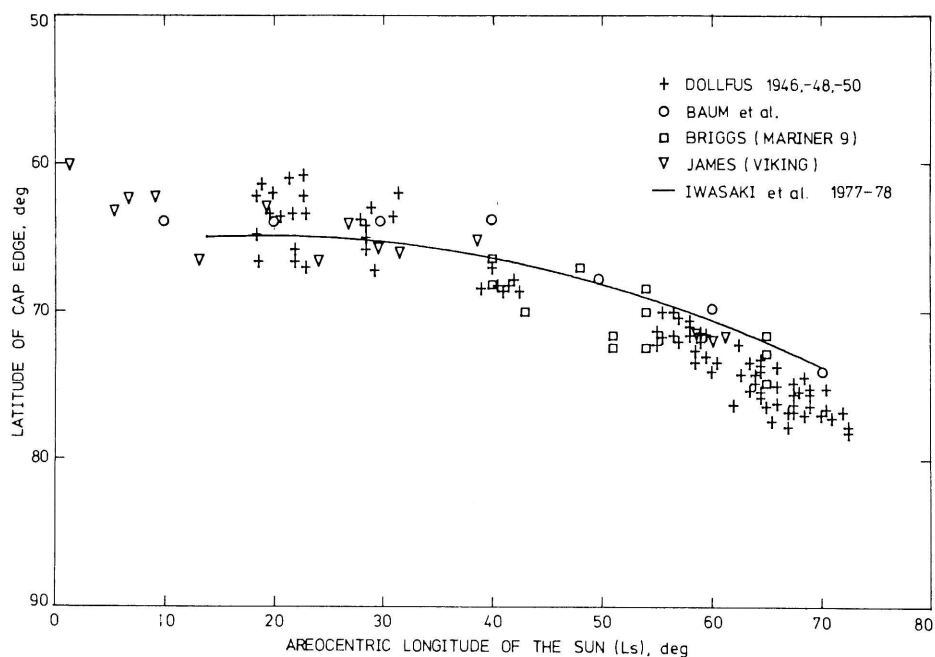


図2. 北極冠の春から夏にかけての縮小。横軸は火星中心太陽経度で、 0° が北半球の春分、 90° が夏至。縦軸は北極冠の端の緯度。

極地方は春分頃まで極雲におおわれており地表面が見えませんが、極冠が形成される様子は観測できません。極冠の成分がドライアイスであるとして、鳴海氏(Narumi 1980)の極冠のモデル計算によって示されるように、極冠は秋頃から形成され始め真冬の頃に最大になり、春分前には広大な極冠が存在しているはずですが、しかし、宮本先生(Miyamoto 1972)は1971年の真冬の南極地方を観測し、極雲の晴れ間から黒い地表面を見たとき報告しています。同じ年にマリナー9号が撮影した春分前の北極地方の写真にも北緯75度より南の地域に極冠らしきものが写っていませんでした。1975~1976年に飛騨天文台で撮られた春分直前の北極地方の写真を調べた結果によれば(Iwasaki et al. 1979)、青フィルター写真には極雲が写っていますが、赤フィルター写真には極冠らしきものが写っていませんでした(図3)。1992年は17年ぶりに春分前の北極冠が観測できる好機でした。今回はアリゾナ大学スチュワード天文台カタリナ観測所と花山天文台との共同観測を行いました。得られたCCD画像を解析した結果、1975年の観測と同様、1992年の観測でも赤色画像には北緯64度まで暗い模様が見えており、北極冠らしきものが見られませんでした(Iwasaki et al. 1993)。今年(1999年)の12月にはマース・ポーラー・ランダーが南極近くに着陸する予定ですので、極雲の下で極冠がどのように形成されるかを直接に観測できるかも知れません。

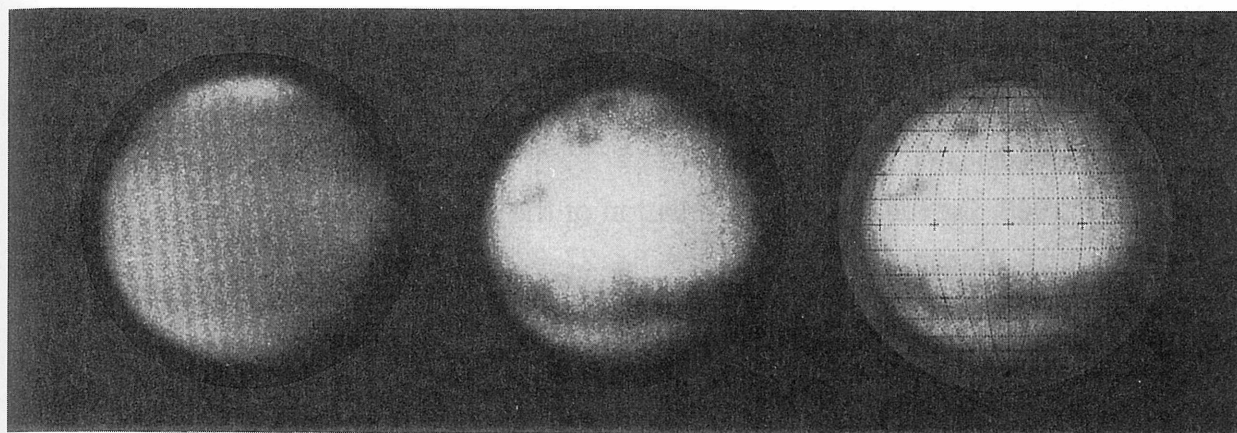


図3. 春分前の北半球高緯度地方の様子を示す青フィルター写真と赤フィルター写真。上が北。
1975年12月3日 火星中心太陽経度(Ls)=352° 中央経度=162° 視直径=16.5″
左：青フィルター 中：赤フィルター 右：赤フィルター（格子は10° 間隔）

参考文献

- Akabane, T., K. Iwasaki, Y. Saito, and Y. Narumi 1992. Opacities of the 1973 dust storm over the Solis Lacus, Hellas, and Syrtis Major areas of Mars. *Astro. Astrophys.* 255, 377-382.
- Akabane, T., M. Matsui, K. Ishiura, A. Hattori, K. Iwasaki, Y. Saito, T. Asada, S. Saito, and Y. Nakai 1980. Photographic Observations of Mars during the 1977-1978 Opposition. *Contr. Kwasan Hida Obs.* 242, 1-27.
- Baum, W. A., and L. J. Martin 1973. Behavior of the martian polar caps since 1905. *Bull. Am. Astron. Soc.* 5, 296.
- Iwasaki, K., S. M. Larson, S. Ebisawa, T. Akabane, E. Panjaitan, I. Radiman 1993. Martian North Polar Cap in 1992-1993 from Image Processed CCD and Photographic Images and Drawings. In *Proceedings of the 26th ISAS Lunar and Planetary Symposium*, pp. 52-55.
- Iwasaki, K., D. C. Parker, S. Larson, and T. Akabane 1999. Martian North Polar Cap 1996-1997. *Icarus* 138, 20-24.
- Iwasaki, K., Y. Saito, and T. Akabane 1979. Behavior of the martian north polar cap, 1975-1978. *J. Geophys. Res.* 84, 8311-8316.
- Iwasaki, K., Y. Saito, Y. Nakai, T. Akabane, E. Panjaitan, I. Radiman, and S. D. Wiramihardja 1989. Behavior of the Martian South Polar Cap 1986. *Publ. Astron. Soc. Japan* 41, 1083-1094.
- Iwasaki, K., Y. Saito, Y. Nakai, T. Akabane, E. Panjaitan, I. Radiman, and S. D. Wiramihardja 1990. Martian South Polar Cap 1988. *J. Geophys. Res.* 95, 14751-14754.

- James, P. B. 1979. Recession of martian north polar cap: 1977-1978
Viking observations. J. Geophys. Res. 84, 8332-8334.
- Miyamoto, S. 1957. The Great Yellow Cloud and the Atmosphere of Mars.
Report of Visual Observations during the 1956 Opposition. Contrib. Inst.
Astrophys. Kwasan Obs. 71, 1-42.
- Miyamoto, S. 1960. On the General Circulation of the Martian Atmosphere.
Contrib. Inst. Astrophys. Kwasan Obs. 88, 27-33.
- Miyamoto, S. 1963. Meteorological Observations of Mars during the 1962-1963
Opposition. Contrib. Inst. Astrophys. Kwasan Obs. 124, 1-80.
- Miyamoto, S. 1972. Meteorological Observations of Mars during the 1971
Opposition. Contrib. Kwasan Hida Obs. 206, 1-71.
- Miyamoto, S. 1974. Meteorological Observations of Mars during the 1973
Opposition. Contrib. Kwasan Hida Obs. 217, 1-64.
- Miyamoto, S., and Y. Nakai 1961. Meteorological Observations of Mars during
the 1960-61 Opposition. Contrib. Inst. Astrophys. Kwasan Obs. 105, 1-49.
- Narumi, Y. 1980. The Seasonal Variation of Atmospheric Pressure on Mars.
In Proceedings of the 13th ISAS Lunar and Planetary Symposium,
pp. 31-40.

(岩崎恭輔記)

(c) 木星

1) 撮像観測

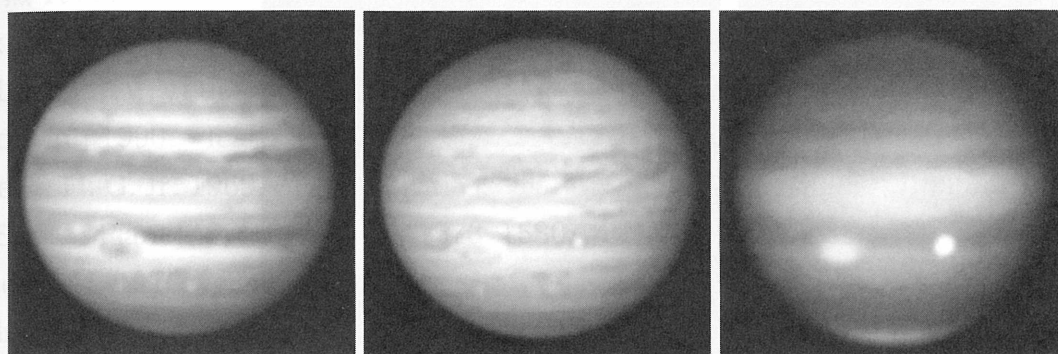
1977年から83年までの7シーズンにかけて、花山天文台の45cm屈折を使って木星の撮像観測が行なわれました。当時はフィルムを使った写真撮影でしたが、近年は飛騨天文台のDSTでCCDカメラを使った観測が行なわれています。

木星の撮像観測の目的は、模様の変化を追跡することです。模様の変化する時間スケールは様々で、数十年かけてゆっくり変化する現象もあれば、数日で様相がまったく変わってしまう活動的な現象もあります。

木星の表面の模様は雲の表面に見えるもので、木星の模様とは渦のような流体力学的な現象です。模様の変化を調べるということは、取りも直さず木星の大気中の力学的な現象の時間変化を調べることになるのです。観測した現象を数値モデルを使ったシミュレーションと比較すれば、木星の大気力学についての議論が可能になります。

2) 縞模様

木星の表面には赤道に平行に走る縞模様があり、明るい部分をゾーン、暗い部分をベルトと呼んでいます。木星表面には赤道に平行に帯状流が吹いていて、その分布を調べると、ベルトの赤道側(したがってゾーンの極側)の境界に東向きの流れのピークがあり、ベルトの極側(した



(a) 青色光

(b) 赤色光

(c) メタンバンド(893nm)

図1. 1999年8月22日撮影。飛騨DST。

がってゾーンの赤道側)の境界に西向きの流れのピークがあることが分かりました。これはゾーンが高気圧的な渦度を持ち、ベルトが低気圧的な渦度を持っていることを意味しています。

我々が地上から見ることは雲の動きで、大気大循環の上端にあたります。この高さで高気圧性の渦であるということは、大気が上昇している(したがって周りより暖かい)領域であることを意味しています。したがってゾーンは上昇気流の領域であり、その上昇気流のために雲が形成されて明るく見えるのです。他方、ベルトはゾーンより冷たく下降気流の領域で、そのために雲が少ないと考えられています(Stone 1976)。

木星の帯状流の分布は19世紀の眼視観測の時代から長年にわたって調べられ、ほぼ一定であることがわかっています。一方ベルト・ゾーンの分布は長期的に見ると大きく変動しています。つまり本来ベルトであるはずのところが明るくなったり、ゾーンのところが暗くなったりすることがたびたび報告されてるのです(Beebe 1994)。どのようなメカニズムでこのような逆転現象が起きるのかはまだわかりません。

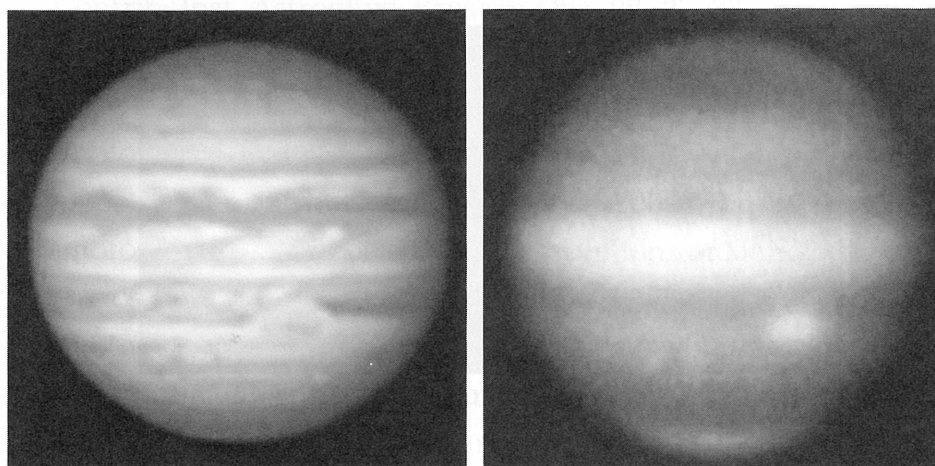
3) 大赤斑とその他の斑点

有名な大赤斑は高気圧性の渦です。前節でゾーンについて述べたように高気圧性の渦度の領域は上昇気流の領域であり、大赤斑の上昇流は成層圏まで達しています。メタンバンドで撮影すると、大赤斑のところは明るく写ります。図1に青色光、赤色光、メタンバンドで撮影した画像を示しましょう。なおこのメタンバンドの画像で最も明るく写っているのは衛星イオ本体です。19世紀に撮影された木星の画像では大赤斑が巨大に写っていました。現在の画像と比較してみると東西方向が特に長かったようです。大赤斑は経度方向にゆっくりと縮小していると考えられています。

大赤斑のもう一つの特徴は東西方向の振動運動です。これは地上からの観測で判明したもので、振幅が0.8度、90日の周期で振動運動をしています(Solberg 1969)。この振動がどのような

メカニズムで励起され維持されているのかはまだわかっていません。

大赤斑の南側に接するように南温帯縞と呼ばれる縞がありますが、そこには永続白斑(White Oval)という楕円形をした明るい斑点が3個ありました。そのうちの2個が1998年春に衝突し合体してしまったので、現在は2個です(Fisher et al. 1998, 宮崎 1998)。この斑点は色は白色ですが、高気圧性の渦である点、メタンバンドで明るく写る点など大赤斑と共通の性質をもっています。大赤斑の小型のものと考えられています。この白斑の画像を図2に示しましょう。



(a) 白色光(赤外線のみカット) (b) メタンバンド(893nm)

図2. 1999年9月9日撮影。飛騨DST。

4) 突発現象

木星の表面の中央付近には2本の太い縞が見られますが、このうち南の縞が南赤道縞です。その南赤道縞は時々淡化して明るくなることが知られています。その明るい状態で発生する突発現象が南赤道縞攪乱です。この現象は南赤道縞内の白斑とその後方(西側)の南赤道縞を横切る暗柱として発見されます。その後、暗柱は西側にどんどん増殖していき、南赤道縞全体が大変乱れた状態に変化してしまいます。そしてついには南赤道縞が暗化してしまうのです。また南赤道縞攪乱が発生すると南赤道縞の南縁に沿って暗い斑点が大量に発生し、西向きの流れに乗って移動します。この斑点が大赤斑に衝突すると、大赤斑の色が一挙に薄くなってしまうことが知られています(Peek 1958)。

もう一つの突発現象が起きるのは北温帯縞です。北温帯縞は木星中央の2本の太い縞のさらに北にシャープな暗い縞として通常は見えますが、時々淡くなってほとんど見えなくなってしまうことがあります。この明るくなった時に発生する突発現象の名前は正式にはついていませんが、ここでは北温帯縞攪乱と呼んでおきます。この現象も北温帯縞に極めて明るい白斑が発生することから始まります。この緯度帯は木星で最も高速の秒速165mの東向きの風が吹いており、この白斑の風上側(西側)に暗斑が発生します。白斑は周りの流れと同じく165m/秒で移動しますが、暗斑の方の移動速度は100m/秒ほどなので暗斑と白斑は離れてしまいます。そのすきにまた暗斑が発生するのです。このように暗斑がどんどん増えていって、ついにはこの緯度帯の全周を暗斑が覆ってしまいます。そして北温帯縞が再び暗くなってしまいます(Sanchez-Lavega et al. 1991)。

これらの突発現象のメカニズムはまだ良く分かっていませんが、北温帯縞攪乱の暗斑は内部重力波ではないかという研究があります(Asada et al. 1993)。

- Asada, T., P. J. Gierasch and T. Yamagata 1993. Initial Development of Eddies in High-Speed Zonal Flow: One Interpretation for NTB Activity of Jupiter. *Icarus* 104, 60-68.
- Beebe, R. F. 1994. *Jupiter: The Giant Planet*. Smithsonian Institution Press.
- Fisher, B. M. et al. 1998. Recent Observations of Jupiter's White Ovals. *Bull. Amer. Astron. Soc.* 30, 1069.
- 宮崎 勲 1998. 木・土星課月報(3-4月). 天界 79, 426-428.
- Peek, B. M. 1958. *The Planet Jupiter*. Faber and Faber, London.
- Sanchez-Lavega, A., et al. 1991. A Disturbance in Jupiter's High-Speed North Temperate Jet during 1990. *Icarus* 94, 92-97.
- Solberg, H. G. Jr. 1969. A 3-Month Oscillation in the Longitude of Jupiter's Red Spot. *Planet. Space Sci.* 17, 1573-1580.
- Stone, P. H. 1976. *The Meteorology of the Jovian Atmosphere*. in *Jupiter*. pp 586-618. Arizona University Press.

(浅田正 記)

3.2 太陽

(a) コロナの電離論

コロナがおおよそ100万度の高温状態にあることは、今からおおよそ半世紀ほど前に、コロナ輝線の同定によって確立されました (Grotrian 1939, Edlen 1941)。コロナ輝線は高階 (10-13 階) に電離した鉄やカルシウムなどから出るいわゆる禁制線だったのです。このような高階電離を引き起こすには数100電子ボルトのエネルギーが必要です。それでコロナの温度は数100電子ボルト (数100万度) 程度である、ということが判明したわけです。ところが、このコロナの温度を正確に導出するには、当時知られていたサハの電離理論は全く不十分でした。実際、サハの式をそのまま適用するとコロナの温度は数10万度にしかありません。このことに最初に気づき、衝突励起に基づく正しいコロナ電離理論を発展させ、コロナの温度を世界で最初に正確に計算したのが、宮本正太郎(1943)でした。下図に宮本が計算した、各温度に対応する鉄原子の電離状態を示します。鉄が13階も電離するには温度が200万度近くないといけないことがわかります。

宮本の研究は Grotrian や Edlen に遅れること、わずか数年にすぎなかったのですが、残念なことに戦時中ということで日本語で発表されたため、戦後、英文に訳されるまで(1949)、海外に知られることはありませんでした。そのため、宮本の名は Grotrian や Edlen に比べると忘れられがちでした。しかし「知る人ぞ知る」で、1993年に出版された E. N. Parker の "Spontaneous Current Sheets in Magnetic Fields" の p. 329 には先駆者の一人として1949年の宮本の論文がちゃんと引用されています。